



VYSOKÉ UČENÍ TECHNICKÉ V BRNĚ

BRNO UNIVERSITY OF TECHNOLOGY

FAKULTA STAVEBNÍ

FACULTY OF CIVIL ENGINEERING

ÚSTAV BETONOVÝCH A ZDĚNÝCH KONSTRUKCÍ

INSTITUTE OF CONCRETE AND MASONRY STRUCTURES

DÁLNIČNÍ KOMOROVÝ MOST

HIGHWAY BOX GIRDER BRIDGE

DIPLOMOVÁ PRÁCE

DIPLOMA THESIS

AUTOR PRÁCE

AUTHOR

Bc. Kamila Ondrůšková

VEDOUCÍ PRÁCE

SUPERVISOR

doc. Ing. MILOŠ ZICH, Ph.D.

BRNO 2018



VYSOKÉ UČENÍ TECHNICKÉ V BRNĚ FAKULTA STAVEBNÍ

Studijní program	N3607 Stavební inženýrství
Typ studijního programu	Navazující magisterský studijní program s prezenční formou studia
Studijní obor	3607T009 Konstrukce a dopravní stavby
Pracoviště	Ústav betonových a zděných konstrukcí

ZADÁNÍ DIPLOMOVÉ PRÁCE

Student	Bc. Kamila Ondrůšková
Název	Dálniční komorový most
Vedoucí práce	doc. Ing. Miloš Zich, Ph.D.
Datum zadání	31. 3. 2017
Datum odevzdání	12. 1. 2018

V Brně dne 31. 3. 2017

prof. RNDr. Ing. Petr Štěpánek, CSc.
Vedoucí ústavu

prof. Ing. Rostislav Drochytka, CSc., MBA
Děkan Fakulty stavební VUT

PODKLADY A LITERATURA

Podklady:

Situace, příčný a podélný řez.

Základní normy:

ČSN 73 6201 Projektování mostních objektů.

ČSN 73 6214 Navrhování betonových mostních konstrukcí.

ČSN EN 1990 včetně změny A1: Zásady navrhování konstrukcí.

ČSN EN 1991-2: Zatížení mostů dopravou.

ČSN EN 1992-1-1: Navrhování betonových konstrukcí. Obecná pravidla a pravidla pro pozemní stavby.

ČSN EN 1992-2: Betonové mosty - Navrhování a konstrukční zásady.

Literatura doporučená vedoucím diplomové práce.

ZÁSADY PRO VYPRACOVÁNÍ

Pro zadaný problém navrhnete dvě až tři varianty řešení a zhodnotíte je.

Podrobný návrh nosné konstrukce vybrané varianty mostu provedete podle mezních stavů včetně zohlednění vlivu výstavby mostu.

Statický výpočet zpracujete pro jeden most, výkresy tvaru pro oba mosty.

Ostatní úpravy provádějte podle pokynů vedoucího diplomové práce.

Požadované výstupy:

Textová část (obsahuje zprávu a ostatní náležitosti podle níže uvedených směrnic)

Přílohy textové části:

P1. Použité podklady a varianty řešení

P2. Výkresy - přehledné, podrobné a detaily (v rozsahu určeném vedoucím diplomové práce)

P3. Stavební postup a vizualizace

P4. Statický výpočet (v rozsahu určeném vedoucím diplomové práce)

Prohlášení o shodě listinné a elektronické formy VŠKP (1x).

Popisný soubor závěrečné práce (1x).

Diplomová práce bude odevzdána v listinné a elektronické formě podle směrnic a 1x na CD.

STRUKTURA DIPLOMOVÉ PRÁCE

VŠKP vypracujete a rozčleňte podle dále uvedené struktury:

1. Textová část VŠKP zpracovaná podle Směrnice rektora "Úprava, odevzdávání, zveřejňování a uchovávání vysokoškolských kvalifikačních prací" a Směrnice děkana "Úprava, odevzdávání, zveřejňování a uchovávání vysokoškolských kvalifikačních prací na FAST VUT" (povinná součást VŠKP).

2. Přílohy textové části VŠKP zpracované podle Směrnice rektora "Úprava, odevzdávání, zveřejňování a uchovávání vysokoškolských kvalifikačních prací" a Směrnice děkana "Úprava, odevzdávání, zveřejňování a uchovávání vysokoškolských kvalifikačních prací na FAST VUT" (nepovinná součást VŠKP v případě, že přílohy nejsou součástí textové části VŠKP, ale textovou část doplňují).

doc. Ing. Miloš Zich, Ph.D.

Vedoucí diplomové práce

ABSTRAKT

Předmětem diplomové práce je návrh přemostění údolí a Doľanského potoka na dálnici D1 v úseku Jánovce - Jablonov na Slovensku. Byly navrženy tři varianty přemostění a následně porovnány. Jako nejvhodnější varianta byla zvolena dodatečně předpjatá konstrukce komorového průřezu, která byla dále posuzována. Statický výpočet byl vypracován dle evropských norem.

KLÍČOVÁ SLOVA

Časově závislá analýza, komorový most, mezní stav použitelnosti, mezní stav únosnosti, průřezové charakteristiky, předpětí, zatížení mostu, železobeton

ABSTRACT

The subject of the diploma thesis is the bridging design of the valley and Doľanský potok on the D1 motorway in the section Jánovce - Jablonov in Slovakia. Three variants of bridging have been designed and then compared. A post-tensioned construction of the box girder cross section was chosen as the most suitable variant, which was further checked. The static calculation was drawn up according to European standards.

KEYWORDS

Time-dependent analysis, box girder bridge, serviceability limit state, ultimate limit state, cross-sectional characteristics, prestress, loading bridge, reinforced concrete

BIBLIOGRAFICKÁ CITACE VŠKP

Bc. Kamila Ondrůšková *Dálniční komorový most*. Brno, 2017. 31 s., 154 s. příl. Diplomová práce. Vysoké učení technické v Brně, Fakulta stavební, Ústav betonových a zděných konstrukcí. Vedoucí práce doc. Ing. Miloš Zich, Ph.D.

PROHLÁŠENÍ

Prohlašuji, že jsem diplomovou práci zpracoval(a) samostatně a že jsem uvedl(a) všechny použité informační zdroje.

V Brně dne 12. 1. 2018

Bc. Kamila Ondrůšková
autor práce

PODĚKOVÁNÍ

Tímto bych ráda poděkovala vedoucímu diplomové práce Doc. Ing. Miloši Zichovi, Ph.D za jeho cenné rady a připomínky v průběhu zpracování této diplomové práce.

Dále bych chtěla poděkovat své rodině a příteli za neustálou podporu po celou dobu mého studia.

OBSAH

ÚVOD.....	11
1 ZÁDÁNÍ A VARIANTY ŘEŠENÍ.....	12
1.1 Požité podklady.....	12
1.2 Varianty řešení.....	12
1.2.1 Varianta 1.....	12
1.2.2 Varianta 2.....	13
1.2.3 Varianta 3.....	14
1.2.4 Závěr.....	14
2 IDENTIFIKAČNÍ ÚDAJE.....	15
3 ZÁKLADNÍ ÚDAJE O MOSTU.....	16
4 VŠEOBECNÝ POPIS.....	16
4.1 Územní podmínky.....	16
4.1.1 Všeobecné podmínky.....	16
4.1.2 Přemostované překážky.....	16
4.1.3 Převáděná komunikace.....	16
4.1.4 Omezení provozu.....	17
4.2 Související objekty stavby.....	17
4.3 Inženýrskogeologické poměry.....	17
5 TECHNICKÉ ŘEŠENÍ.....	18
5.1 Popis konstrukce mostu.....	18
5.1.1 Zemní práce.....	18
5.1.2 Založení.....	18
5.1.3 Spodní stavba.....	18
5.1.4 Nosná konstrukce.....	19
5.1.5 Izolace.....	19
5.1.6 Okolní úpravy.....	19
5.2 Vybavení mostu.....	20
5.2.1 Ložiska.....	20
5.2.2 Mostní závěry.....	20
5.2.3 Vozovka.....	20
5.2.4 Odvodnění.....	20

5.2.5	Římsy.....	20
5.2.6	Svodidla	21
5.2.7	Zábradlí.....	21
5.3	Zvláštní vybavení mostu	21
5.3.1	Letopočet.....	21
5.3.2	Evidenční číslo	21
5.4	Cizí zařízení na mostě	21
6	POŽADAVKY NA MATERIÁL A NA ÚPRAVU POVRCHŮ.....	22
6.1	Požadavky na materiál.....	22
6.1.1	Materiál pro zásyp a obsyp	22
6.1.2	Beton.....	22
6.1.3	Betonářská výztuž.....	22
6.1.4	Předpínací výztuž	22
6.2	Požadavky na úpravu povrchů.....	22
6.2.1	Povrchová úprava bedněných ploch.....	22
6.2.2	Povrchová úprava nebedněných ploch	23
7	VÝSTAVBA MOSTU	23
7.1	Přípravné práce	23
7.2	Postup výstavby nosné konstrukce	23
7.3	Dokončovací práce	24
7.4	Montážní zatížení.....	24
8	STATICKÉ POSOUZENÍ.....	24
8.1	Výpočtový model	24
8.1.1	Prutový model 3D	24
8.1.2	Prutový model 2D	25
8.1.3	Desko - stěnový model	25
8.2	Zatížení.....	25
8.3	Předpětí	25
8.4	Mezní stav použitelnosti	26
8.4.1	Omezení napětí	26
8.4.2	Omezení trhlin.....	26
8.5	Mezní stav únosnosti	26



8.5.1	Ohybová únosnost	26
8.5.2	Působení posouvající síly a kroutícího momentu	26
8.5.3	Příčný směr	27
8.6	Podporový příčník.....	27
9	BEZPEČNOST A OCHRANA ZDRAVÍ PŘI PRÁCI NA STAVENÍŠTI.....	27
	ZÁVĚR.....	28
	SEZNAM POUŽITÝCH ZDROJŮ	29
	Seznam použitých norem	29
	Seznam použité literatury.....	29
	Internetové zdroje.....	29
	Použité programy.....	29
	SEZNAM PŘÍLOH	30
	SEZNAM OBRÁZKŮ	31

ÚVOD

Zadáním této diplomové práce je návrh přemostění dálniční komunikace nad hlubokým údolím mezi obcemi Dolány a Klčov na Slovensku. Byly vytvořeny tři varianty řešení, z nichž byla vybrána dodatečně předpjatá konstrukce komorového průřezu. Hlavním úkolem je posoudit navrženou nosnou konstrukci na fázovanou výstavbu, mezní stav použitelnosti a únosnosti.

Varianta je vymodelována ve výpočetním programu Scia Engineer 16.0. Statická analýza v podélném směru byla provedena na dvou prutových modelech zohledňujících časově závislou analýzu a finální působení konstrukce. Pro posouzení v příčném směru je vytvořen desko-stěnový model. V závěru práce byla vytvořena výkresová dokumentace a vizualizace.

1 ZÁDÁNÍ A VARIANTY ŘEŠENÍ

1.1 Použité podklady

Pro návrh přemostění Dolanského potoka a přilehlého údolí byl využit digitální vrstevnicový plán území s vyznačenou osou směrového řešení a podélný řez údolím s vyznačenou niveletou. Veškeré použité podklady jsou v příloze P1. Použité podklady a varianty řešení – P1.01 – VRSTEVNICOVÝ PLÁN ÚZEMÍ a P1.02 – PODÉLNÝ ŘEZ ÚZEMÍM.

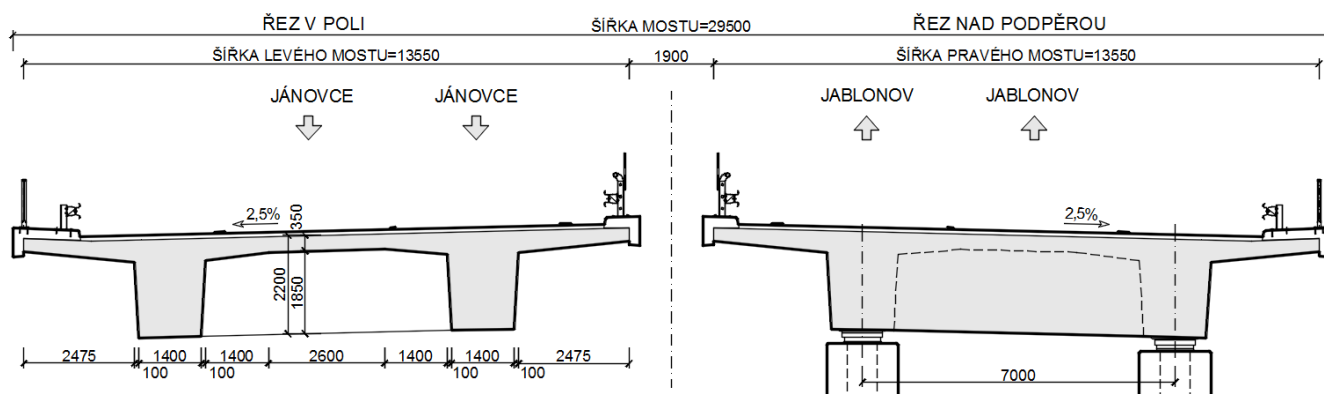
1.2 Varianty řešení

1.2.1 Varianta 1

První varianta přemostění dálniční komunikace je navržena jako dodatečně předpjatá dvoutrámová konstrukce o 10 polích. Jízdní směry dálnice jsou převáděny po samostatné konstrukci. Jedná se o spojitý nosník o rozpětí polí $38,00 + 8 \times 42,00 + 38,00\text{m}$. Celková délka přemostění činí $410,1\text{m}$. Výška konstrukce je po celé délce konstantní $2,2\text{m}$ se skloněnými stěnami. Osová vzdálenost trámů je $7,0\text{m}$. Horní povrch desky je vyspádovaný dle příčného sklonu vozovky.

Dvoutrámový průřez je poměrně rozšířený z důvodu jednoduchosti geometrie a tudíž i snadnější výstavbě nosné konstrukce. Výhodou je také vedení komunikace přes vlastní mostní objekt. V případě oprav či havárie na jednom mostním objektu může být doprava převedena na objekt druhý.

Nevýhodou této varianty je velký počet podpěr. V tomto případě jsou navrženy čtyři pilíře v příčném řezu. Konstrukce přemostňuje hluboké údolí a velký počet podpěr se z estetického důvodu jeví jako nevhodný a kazí ráz krajiny.



Obr. 1-1 Schéma příčného řezu - varianta 1

Viz příloha:

P1.03 - VARIANTA 1 - PODÉLNÝ ŘEZ

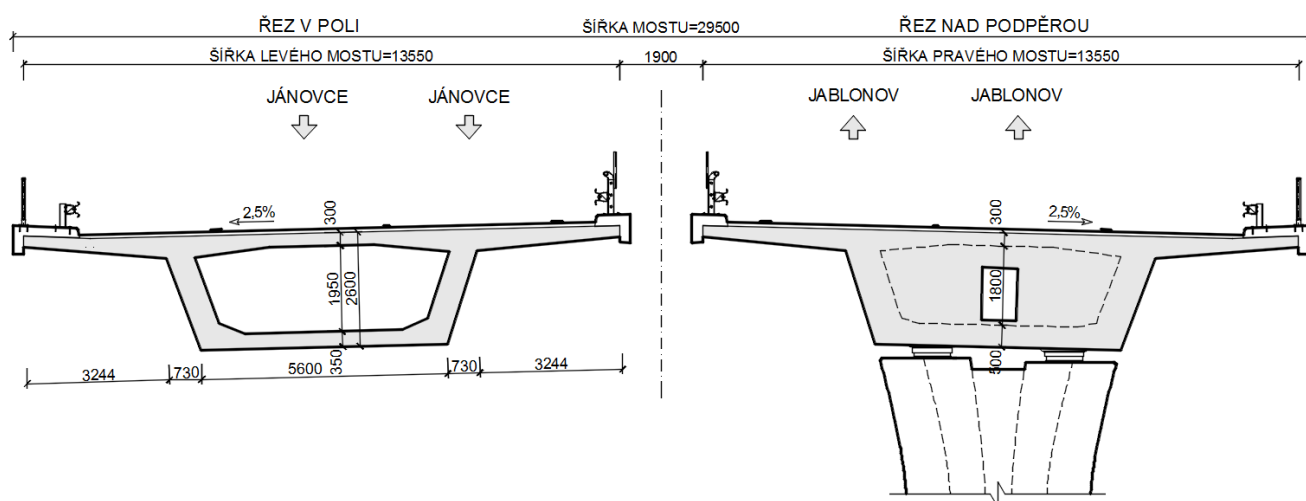
P1.04 - VARIANTA 1 - PŘÍČNÝ ŘEZ

1.2.2 Varianta 2

Druhá varianta přemostění dálniční komunikace je navržena jako dodatečně předpjatá konstrukce komorového průřezu s náběhy o 9 polích. Jízdní směry dálnice jsou převáděny po samostatné konstrukci. Jedná se o spojitý nosník o rozpětí polí 38,00 + 7 x 48,00 + 38,00m. Celková délka přemostění činí 409,9m. Výška konstrukce je po celé délce konstantní 2,6m se skloněnými stěnami. Povrch horní a spodní desky je vyspádovaný dle příčného sklonu vozovky.

Z důvodu délky mostu a ve snaze navrhnout menší počet polí o větších rozpětí, se jeví komorový nosník jako vhodnější varianta i z hlediska namáhání od kroucení než dvoutrám. Výhodou je také vedení komunikace přes vlastní mostní objekt. V případě oprav či havárie na jednom mostním objektu může být doprava převedena na objekt druhý.

Nevýhodou se může jevit, stejně jako u dvoutrámu, větší počet podpěr. Dále pak v nutnosti vyhotovit dvě spodní stavby.



Obr. 1-2 Schéma příčného řezu - varianta 2

Viz příloha:

P1.05 - VARIANTA 2 - PODÉLNÝ ŘEZ

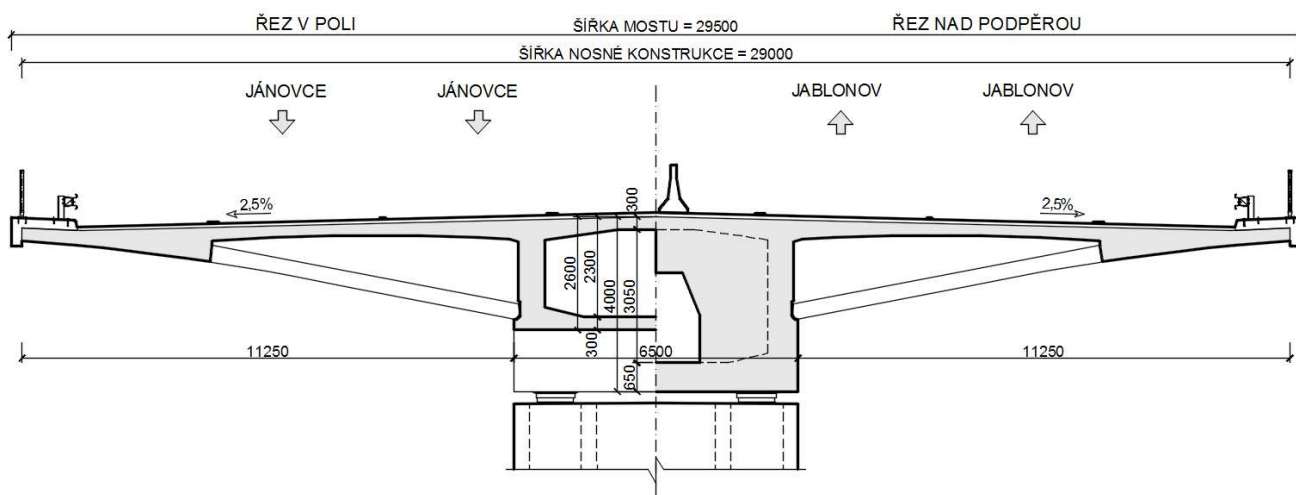
P1.06 - VARIANTA 2 - PŘÍČNÝ ŘEZ

1.2.3 Varianta 3

Třetí varianta přemostění dálniční komunikace je pomocí komorového nosníku s velmi vyloženými konzolami s náběhy o 7 polích. Jízdní směry dálnice jsou převáděny po jedné nosné konstrukci. Jedná se o spojitý nosník o rozpětí polí $49,50 + 5 \times 63,50 + 49,50\text{m}$. Celková délka přemostění činí $407,9\text{m}$. Výška konstrukce je po délce proměnná od $2,6 - 4,0\text{m}$. Vnější konzoly jsou podepřeny prefabrikovanými vzpěrami. Horní povrch desky je vyspádovaný dle příčného sklonu vozovky.

Výhodou této varianty je, že navržený průřez umožňuje redukovat počet polí, což vede ke snížení počtu podpěr. A také oba jízdní směry jsou převáděny po stejné mostní konstrukci, což vede k úspoře materiálu. Další výhodou je rychlost výstavby.

Nevýhodou ale je již zmíněný způsob vedení jízdních směrů. V případě havárie či nutnosti oprav je nutno vyloučit dopravu na mostě a odklonit ji na místní komunikace.



Obr. 1-3 Schéma příčného řezu - varianta 3

Viz příloha:

P1.07 - VARIANTA 3 - PODÉLNÝ ŘEZ

P1.08 - VARIANTA 3 - PŘÍČNÝ ŘEZ

1.2.4 Závěr

Za nejvhodnější návrh přemostění byla vybrána varianta 2. Komorový průřez je vhodný z důvodu vysoké tuhosti v kroucení. Šikmost stěn plynule navazuje na spodní stavbu, což působí v krajině esteticky lépe než dvoutrám. Díky užšímu příčnému řezu není zapotřebí navrhovat příčné předpětí a prefabrikované vzpěry. Díky způsobu vedení jízdních pásů nebude problém při případné opravě či poruše.

2 IDENTIFIKAČNÍ ÚDAJE

Stavba:	Dálnice D1, Slovenská republika, dálniční úsek Jánovce – Jablonov
Objekt:	SO 217 – 00
Název objektu:	Estakáda přes Doľanský potok a přilehlé údolí
Katastrální území:	Doľany
Okres:	Levoča
Kraj:	Prešovský
Objednavatel:	Slovenská správa ciest Miletičova 19, P.O.BOX 19, 826 19 Bratislava
Investor:	Slovenská správa ciest Miletičova 19, P.O.BOX 19, 826 19 Bratislava
Nadřízený orgán investora:	Ministerstvo dopravy, výstavby a regionálneho rozvoja Slovenskej republiky, Námestie slobody č. 6 P.O.BOX 100, 810 05 Bratislava, Slovenská republika
Uvažovaný správce mostu:	Slovenská správa ciest Miletičova 19, P.O.BOX 19, 826 19 Bratislava
Projektant:	Bc. Kamila Ondrůšková Sv. Čecha 1280 Uherský Brod, 688 01
Pozemní komunikace:	Dálnice D1, kategorie S26,5/120
Přemostovaná překážka:	Cesta III/018 170
Staničení:	km 15,519 045
Úhel křížení:	86,1550g
Přemostovaná překážka:	Doľanský potok
Staničení:	km 15,661 956
Úhel křížení:	77,9362g
Přemostovaná překážka:	Polní cesta 132 – 00
Staničení:	km 15,751 064
Úhel křížení:	100,0000g

3 ZÁKLADNÍ ÚDAJE O MOSTU

Délka mostu:	423,00m
Délka nosné konstrukce:	414,00m
Délka přemostění:	409,90m
Rozpětí polí:	38,00 + 7 x 48,00 + 38,00m
Šikmost mostu:	v oblouku R = 9,00km
Výška mostu nad terénem:	31,55m
Stavební výška:	2,69m
Celková šířka mostu:	29,50m
Šířka nosné konstrukce:	29,00m
Volná šířka mostu:	2 x 11,75m
Šířka nouzového chodníku:	na obou stranách 0,75m
Zatížení mostu:	pozemní komunikace 1. skupiny dle ČSN EN 1991-2

4 VŠEOBECNÝ POPIS

4.1 Územní podmínky

4.1.1 Všeobecné podmínky

Most se nachází mezi obcemi Dolány a Klčov v katastrálním území Dolány a je situován v extravilánu. Most převádí komunikaci D1 přes místní komunikace, polní cestu a přes Dolanský potok. Umístění mostu vychází z navrhovaného směrového a výškového řešení převáděné komunikace D1 kategorie S26,5/120 SO 101-00.

Ve vzdálenosti dotčené výstavby mostu se nenachází žádné obytné budovy ani průmyslová zástavba.

4.1.2 Přemostované překážky

Překážku tvoří místní komunikace III/018 170 a polní cesta. Další překážkou je Dolanský potok. Všechny překážky zůstanou beze změn.

4.1.3 Převáděná komunikace

Převáděnou komunikací je dálnice kategorie D 26,5/120 s jednostranným nouzovým chodníkem šířky 0,75m.

Směrové poměry:	ve směrovém oblouku R = 9,0km
Výškové poměry:	ve výškovém zakružovacím oblouku R = 50,0km ze sklonu 0,25% do sklonu 0,57%
Příčný sklon:	jednostranný 2,5%

Šířkové uspořádání:

Zpevněná krajnice	3,00m
Vodící proužek	0,25m
Jízdní pruh	3,75m
Jízdní pruh	3,75m
Vodící proužek	0,50m
Zpevněná krajnice	0,50m
Střední dělicí pás	3,00m
Zpevněná krajnice	0,50m
Vodící proužek	0,50m
Jízdní pruh	3,75m
Jízdní pruh	3,75m
Vodící proužek	0,25m
Zpevněná krajnice	3,00m
Celkem	26,50m

4.1.4 Omezení provozu

Nový most se buduje mimo stávající silniční síť. Během výstavby bude provoz omezen pouze na stávajících polních cestách.

4.2 Související objekty stavby

SO 101 - 00	Dálnice D1
SO 501 - 00	Dešťová kanalizace
SO 631 - 00	Elektrické vedení
SO 645 - 00	Dolanský potok
SO 131 - 01	Polní cesta
SO 131 - 02	Polní cesta

4.3 Inženýrskogeologické poměry

Inženýrskogeologické poměry byly stanoveny na základě informací z průzkumu. V rámci podrobného IG průzkumu bylo pro mostní objekty provedeno 16 jádrových vrtů v blízkosti budoucích pilířů a opěr. Charakteristickou zeminou v podloží je zemina typu R4. Podloží se jeví jako únosné. Ustálená hladina podzemní vody je blízko pod povrchem a je nutné dbát na zvýšenou opatrnost.

5 TECHNICKÉ ŘEŠENÍ

5.1 Popis konstrukce mostu

5.1.1 Zemní práce

Pro provádění zemních prací se postupuje dle TKP. Výkopové jámy jsou svahované 1:1 a budou provedeny ve dvou fázích. V první fázi bude výkop otevřen na úroveň o min 0,5m menší než je požadovaná. Ve druhé fázi se po provedení pilot otevře stavební jáma na plný profil.

Z důvodu blízkosti hladiny podzemní vody pod povrchem byla v každé stavební jámě navržena jedna čerpací jímka, která poslouží také k odčerpání povrchové srážkové vody z výkopů.

Pro zásyp stavebních jam je možné použít vhodné zeminy z výkopů. Pro zásyp a obsyp základů opěr a křídel je navrženo použití vhodného hutněného materiálu. Zásyp u opěr se za rubem opěr provede do úrovně pod těsnicí vrstvou zeminou „vhodnou nebo podmíněčně vhodnou do násypu“ s hutněním na D=95% PS po vrstvách max. tl. 300mm. Na násypu se provede z rubové strany těsnicí vrstva z PVC folie, která se vypáduje ve sklonu 3,0%. Nad těsnicí vrstvou se provede zásyp přechodové oblasti zeminou „vhodnou nebo podmíněčně vhodnou do násypu“ s hutněním na D=100% PS po vrstvách max. tl. 300mm.

Násypové kužely kolem křídel se provedou ze zeminy „vhodné“ nebo „podmínečně vhodné“ s hutněním na D=95% PS po vrstvách max. tl. 300mm.

5.1.2 Založení

Založení mostního objektu je navrženo jako hlubinné na vrtaných velkopřůměrových pilotách $\Phi 900\text{mm}$. Pod každou opěrou je uvažováno s 20 ks pilot délky v rozmezí od 11,0 do 12,0m. Pod opěrou se nacházejí dvě řady po 15 pilotách délky 17,0m.

Vrtání pilot se provede v první fázi otevření stavební jámy přes betonové šablony tl. 0,15m. Piloty se nadbetonují min o 0,5m nad čistou úroveň. Po provedení výkopu stavební jámy budou odbourány a začištěny.

5.1.3 Spodní stavba

Opěry jsou navrženy jako železobetonové z betonu C 30/37 a jsou provedeny včetně závěrných zídce, přechodových desek, rovnoběžných křídel a ložiskových bloků. Horní povrch úložného prahu je vypádován ve sklonu 4% směrem k závěrné zídce, kde bude zhotoven odvodňovací žlábek pomocí trubky.

Šířka opěr je 3,5m s délkou 29,0m. Opěra O1 je navržena výšky 2,25m a opěra O2 výšky 2,9m. Základy opěr jsou o rozměrech 1,0x3,8x29,0m. Přechodové desky jsou na závěrné zídce uloženy pomocí vrubového kloubu. Desky mají délku 6,5m a tloušťku 0,3m. Závěrné zídky jsou šířky 0,7m a výšky 3,0m. Křídla jsou navržena jako dilatovaná na vlastním základu. Tloušťka křídel je 0,6m.

Pro pole jsou navrženy železobetonové pilíře z betonu C 30/37 s rozdílnou výškou od 15,34m do 29,87m. Pilíře jsou uloženy na plošných základech 2,5x8,0x10,0m.

5.1.4 Nosná konstrukce

Nosnou konstrukci mostu tvoří předpjatý monolitický komorový nosník z betonu C 35/45. V podélném směru je nosná konstrukce náběhovaná s rozpětím 409,9m. Celková délka je 414,0m. Komorový nosník je navržen šířky 13,55m a výšky 2,6m. Stěny a spodní deska nosníku jsou, z důvodu vytvoření náběhů, proměnné tloušťky. V krajních polích je náběh dlouhý 7,2m, ve zbylých má pak délku 9,6m. Tloušťka stěny je od 0,6 - 0,75m, tloušťka spodní desky je od 0,35 - 0,5m. Horní deska je navržena tl. 0,3m. Sklon povrchu horní i spodní desky je jednostranný 2,5%.

Konstrukce je na pilířích nepřímo uložena pomocí příčníků šířky 1,5m. Na opěrách jsou navrženy příčníky s šířkou 2,0m.

Nosná konstrukce bude podélně předepnuta 12 ks dodatečně předpjatých 20 - lanových kabelů, Y1770 S7-15,7-A. Napínání je jednostranné. Provedení předpětí - vytvoření kabelových kanálků, napínání a injektáž je nutné provádět v souladu s TKP. V koncových příčnicích jsou navrženy kapsy, ve kterých budou uloženy kotvy předpínacích kabelů. Volné předpínací kabely jsou vedeny v deviátorech, které jsou umístěny ve třetinách rozpětí polí. Betonářská výztuž je z oceli B500B.

5.1.5 Izolace

Líce základů a zasypané části opěr a křídel jsou chráněny izolačními nátěry proti zemní vlhkosti 1 x ALP + 2 x ALN, hranice nátěrů jsou 200mm pod povrch upraveného terénu. Rub opěr a křídel se opatří izolačním nátěrem proti zemní vlhkosti 1 x ALP + NAIP, který bude překryt jednou vrstvou geotextilie 600g/m².

Na nosné konstrukci bude provedena celoplošná izolace 1 x ALP + NAIP. Musí být zajištěna její celistvost a nepropustnost.

Rub opěr a křídel bude odvodněn pomocí těsnicí vrstvy z PVC folie uložené do vrstvy ŠP. Vrstva se vyspádúje ve sklonu 3,0% směrem k rubové drenáži opěr.

5.1.6 Okolní úpravy

Svahy před opěrami budou opevněny kamennou dlažbou z lomového kamene tl. 200mm do betonu C 20/25n tl. min. 100mm a šterkopískového lože tl. min. 100mm. Dlažba je lemována betonovými obrubníky 100/250mm a zakončena betonovými prahy (0,5x0,8m).

U obou opěr je navrženo revizní schodiště šířky 750mm. Schodiště tvoří betonové dílce z betonu C 30/37, které jsou kladeny do podkladního betonu C 20/25n. Schodiště je lemováno betonovými obrubníky 100/250mm. Prostor mezi schodištěm a opěrou je vydlážděn kamennou dlažbou z lomového kamene. Dlažba navazuje na zpevnění svahů pod mostem.

Nezpevněná krajnice podél vozovky je za opěrami v délce 5m vydlážděna kamennou dlažbou z velkých kostek do betonu C 20/25n.

5.2 Vybavení mostu

5.2.1 Ložiska

Uložení je uvažováno pomocí dvojice hrncových ložisek, která jsou ve směru staničení na pravé straně navržena jako podélně pohyblivá a na levé straně ve směru staničení jsou umístěna všesměrná ložiska. Pilíře P5 a P6 jsou s nosnou konstrukcí spojeny pomocí vrubových kloubů.

5.2.2 Mostní závěry

Na obou koncích nosné konstrukce jsou umístěny povrchové hřebenové závěry, které jsou umístěny do kapsy vytvořené v závěrné zídce a nosné konstrukci.

5.2.3 Vozovka

Tloušťka vozovkového krytu je 90mm s následující skladbou:

Kryt vozovky: AKMS 40mm

Spojovací postřík: PS, E 0,3 kg/m²

Ochranná vrstva: ABSI modifikovaný 45mm

Spojovací postřík: PS, E 0,3 kg/m²

Izolační souvrství: 5mm

Úprava povrchu NK s pečetící vrstvou

5.2.4 Odvodnění

Povrchová voda je z mostu odvedena pomocí příčného a podélného sklonu po povrchu vozovky podél římsy, kde je vytvořen odvodňovací proužek. Z odvodňovacího proužku je voda odváděna mostními odvodňovači (300/500mm). Ty jsou svedeny do podélného svodu DN250 a následně u pilířů P2, P4, P6 a P8 svislým svodem DN250 na terén, popř. do příkopu. Za křídly opěry O1 a O10 jsou umístěny skluzy, které odvádí vodu z vozovky za mostem do příkopu.

Odvodnění povrchu izolace je provedeno pomocí nerezových odvodňovacích trubiček, kterými voda kape přímo pod most.

Rub opěr je odvodněn pomocí perforované drenážní trubky DN150 umístěné za rubem opěr. Drenážní trubka je vyvedena v kuželu vedle opěry mostu. Trubka je uložena na podkladním betonu C 12/15. Prostup drenáže skrz křídlo je řešen pomocí nerezové trubky vsazené do křídla.

5.2.5 Římsy

Na mostním objektu jsou navrženy monolitické římsy z betonu C 35/45. Horní povrch římsy je ve sklonu 4% směrem do vozovky, podélný sklon respektuje podélný sklon komunikace na mostě.

Na vnější římse šířky 1,50m se nachází revizní chodník šířky 0,75m. V místě chodníku bude v příčném směru povrch římsy upraven striáží. Vnitřní římsa je navržena v šířce 0,8m. U všech říms je uvažováno s obrubami výšky 150mm. Obruby jsou provedeny ve sklonu 5:1.

Římasy jsou do nosné konstrukce zakotveny ocelovými kotvami vlepenými do vývrtu dle VL-4:2015. Do říms je osazeno ocelové zábradelní svodidlo, mostní svodidlo a zábradlí.

5.2.6 Svodidla

Na vnitřní římse je navrženo ocelové zábradelní svodidlo s vodorovnou výplní úroveň zadržení H2 dle TP 114. Na vnější římse je navrženo ocelové svodidlo úrovně zadržení H2. Výška svodnice nad povrchem vozovky je min. 0,75m. Svodidla budou do římsy kotvena chemickými kotvami.

5.2.7 Zábradlí

Na levé římse po směru staničení je navrženo ocelové zábradlí výšky 1,1m. Zábradlí bude do římsy kotveno přes patní desku pomocí chemických kotev. Výplň zábradlí bude svislé s mezerami 120mm.

5.3 Zvláštní vybavení mostu

5.3.1 Letopočet

Letopočet výstavby mostu bude trvale vyznačen na vnější křídlo opěr vlysem do betonu v počtu 2 ks.

5.3.2 Evidenční číslo

Na začátku mostu bude osazena značka s evidenčním číslem mostu dle TKP.

5.4 Cizí zařízení na mostě

Na mostě nejsou žádná cizí zařízení.

6 POŽADAVKY NA MATERIÁL A NA ÚPRAVU POVRCHŮ

6.1 Požadavky na materiál

6.1.1 Materiál pro zásyp a obsyp

Viz kapitola 5. 1. 1.

6.1.2 Beton

Pro jednotlivé části konstrukce mostního objektu byly navrženy třídy betonů se stupni odolnosti proti agresivitě prostředí.

Podkladní beton:	C 12/15 X0
Piloty:	C 25/30 XC2
Základy:	C 25/30 XC2, XF1
Pilíře:	C 30/37 XC4, XD2, XF2
Opěry a křídla:	C 30/37 XC3, XD1, XF2
Nosná konstrukce:	C 35/45 XC4, XD3, XF4
Římsy:	C 35/45 XC4, XD3, XF4
Schodišťové stupně:	C 30/37 XC4, XD3, XF4
Beton pod schodiště a dlažby:	C 20/25n XF3

6.1.3 Betonářská výztuž

Ve všech částech mostu bude použita betonářská výztuž B 500B. U jednotlivých povrchů betonu se s krycí vrstvou betonářské výztuže uvažuje tak, aby byly dodrženy požadavky na odolnost proti agresivitě prostředí.

6.1.4 Předpínací výztuž

Pro soudržné kabely bude použita výztuž Y - 1770 S7 - 15,7 - A. Je uvažováno s 20 - lanovými kabely. Celkový počet kabelů je 12. Plocha jednoho lana $A_{p1} = 150\text{mm}^2$. Volné kabely jsou navrženy z výztuže Y - 1770 S7 - 15,7 - A a jsou uvažovány jako 16 - lanové kabely s celkovým počtem 4 ks.

6.2 Požadavky na úpravu povrchů

6.2.1 Povrchová úprava bedněných ploch

Základy - neviditelné plochy:	Aa
Pilíře, opěry a křídla - neviditelné plochy:	Aa
Pilíře, opěry a křídla - viditelné plochy:	Cd

Nosná konstrukce - neviditelné plochy: Aa

Nosná konstrukce a římsy - viditelné plochy: Cd

A - nehoblovaná prkna na sraz

C - vodovzdorná překližka - všechny styčné spáry mezi jednotlivými dílci bednicí překližky na sebe musí vzájemně navazovat bez výškových či směrových odskoků

a - povrchové drobné vady - po odbednění odstranit drobné odštěpky, popř. upravit hladítkem

d - povrch nevyžaduje další úpravu

6.2.2 Povrchová úprava nebedněných ploch

Aby se zamezil vznik trhlin, musí se čerstvý beton řádně ošetřit. Povrch čerstvého betonu se zakryje geotextilií, která se udržuje ve vlhkém stavu.

7 VÝSTAVBA MOSTU

7.1 Přípravné práce

Přípravné práce započnou sejmutím ornice, poté dojde k výkopovým pracím pro základy. Po dokončení výkopových prací dojde k vrtání a betonáži železobetonových pilot. Po vytvrdnutí budou provedeny plošné základy, na kterých se vybetonují pilíře. Obdobný postup se provede pro krajní opěry. Před betonáží nosné konstrukce jsou zhotoveny zárodky na pilířích, které slouží pro osazení výsuvné skruže.

7.2 Postup výstavby nosné konstrukce

Výstavba probíhá po směru staničení v podélném směru od opěry O1 až po opěru O10. Betonáž nosné konstrukce je provedena v několika fázích. V každé fázi je vždy vybetonováno jedno pole s převislou konzolou délky 0,2 násobku následujícího pole.

První pole je zhotoveno na pevné skruži. Po dosažení požadované krychelné pevnosti betonu dojde k předepnutí 50% kabelů v pracovní spáře. Po dokončení předpínání je možné pevnou skruž demontovat.

Zbýlá pole jsou zhotoveny na výsuvné skruži Berd, která má vlastní aktivně ovládaný organický předpínací systém, pomocí kterého jsou postupně napínána lana během betonáže. Zadní část skruže je umístěna na přesahující konzole vybetonované v předchozí fázi a přední část leží na zárodku. Skruž je na konzole umístěna 6m od osy podpěry. Po dosažení požadované krychelné pevnosti betonu dojde k předepnutí 50% kabelů v pracovní spáře. Po dokončení předpínání je možné skruž odbednit a přesunout do následujícího pole.

Po betonáži nosné konstrukce v posledním poli dojde k napnutí volných kabelů, které jsou vedeny uvnitř komory skrz diafragmata. Následně budou zhotoveny mostní římsy, vozovkové souvrství a budou osazeny záchytné systémy.

Grafické znázornění postupu výstavby je uvedeno v příloze P3. Stavební postup a vizualizace, P3.01 - STAVEBNÍ POSTUP.

7.3 Dokončovací práce

Poslední fází výstavby jsou dokončovací práce. Úprava terénu, betonáž obslužných schodišť, zpevnění svahů kolem mostu lomovým kamenem a následné ohumusování svahů a násypů.

7.4 Montážní zatížení

Během výstavby mostu je nosná konstrukce zatěžována bodovými silami - od vlastní tíhy skruže a mokrého betonu v bednění. Po předepnutí konstrukce soudržnými kabely a následným odbedněním dojde k odlehčení o velikosti mokrého betonu a po přejezdu skruže do následujícího pole nastane odlehčení o velikosti tíhy skruže.

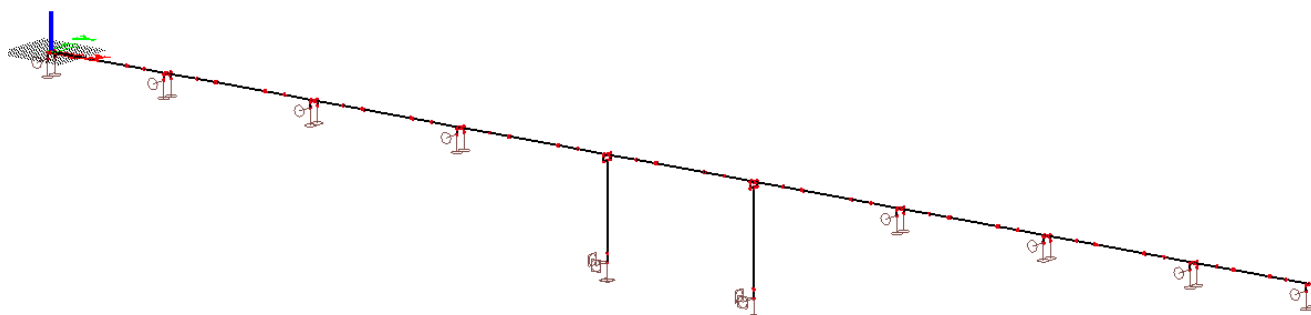
8 STATICKÉ POSOUZENÍ

8.1 Výpočtový model

Pro statický výpočet byly v programu Scia Engineer vytvořeny 3 modely.

8.1.1 Prutový model 3D

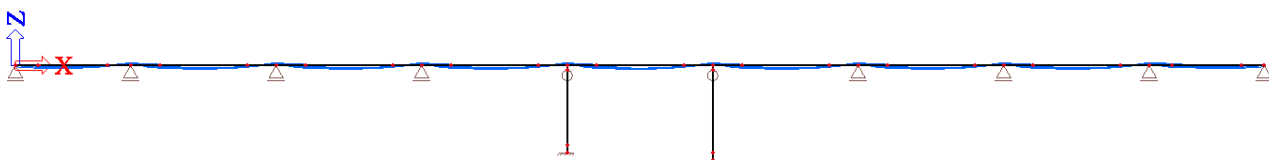
Model byl vytvořen prutem v obecné rovině XYZ a odpovídá finálnímu stavu konstrukce. Slouží k získání vnitřních sil od stálého a proměnného zatížení pro posouzení konstrukce na mezní stav použitelnosti, mezní stav únosnosti - ohyb, smyk a kroucení a k předběžnému návrhu předpětí.



Obr. 8-1 Prutový model pro analýzu podélného směru

8.1.2 Prutový model 2D

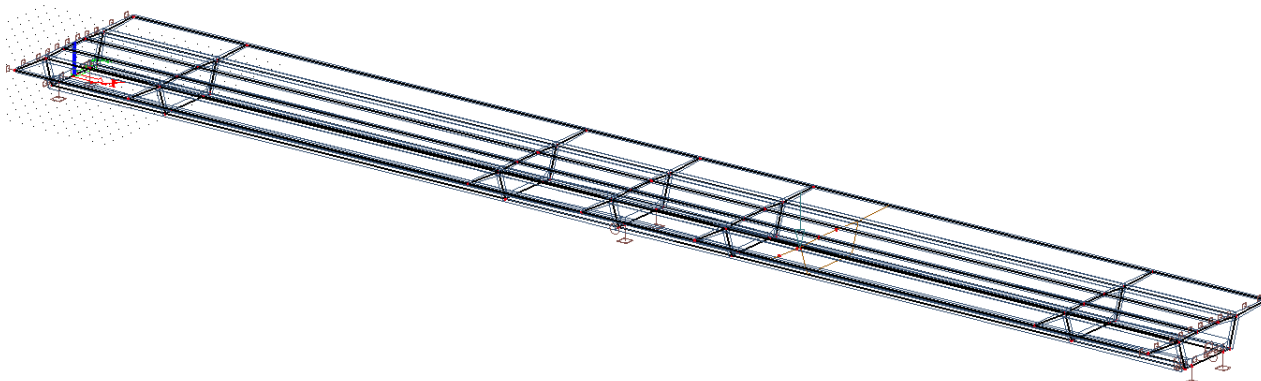
Konstrukce byla navržena jako prutový model v rovině XZ a byl využit k časově závislé analýze - TDA. V programu byly použity funkcionality předpětí, fáze výstavby a provozu.



Obr. 8-2 Model pro časově závislou analýzu

8.1.3 Desko - stěnový model

Model byl vytvořen pomocí desko-stěnových prvků o rozpětí 96m, což odpovídá dvěma polím. Model je uvažován jako výsek spojitého nosníku o devíti polích, proto jsou na okrajích horní a spodní desky uvažovány liniové podpory. Model sloužil ke statické analýze v příčném směru.



Obr. 8-3 Desko - stěnový model pro analýzu v příčném směru

8.2 Zatížení

Výpočet byl proveden dle norem ČSN EN. Do výpočtu bylo uvažováno zatížení stálé - vlastní tíha, ostatní stálé a pokles podpor a zatížení proměnné - zatížení dopravou, větrem a teplotou. Podrobnější popis zatížení je uveden v příloze P4. Statický výpočet, kap. 5 - ZATÍŽENÍ.

8.3 Předpětí

Při návrhu předpětí byla využita metoda vyrovnání zatížení. V konstrukci jsou navrženy dva typy předpětí - soudržné kabely, které vyrovnávají 90-100% vlastní tíhy

v čase t_0 a volné kabely, které vyrovnávají 90-100% účinků od ostatního stálého zatížení v čase t_0 . Krátkodobé ztráty byly odhadnuty na 10% a dlouhodobé na 15%. Po vymodelování předpětí v programu Scia Engineer a následném posouzení mezního stavu použitelnosti, byl navýšen počet lan v kabelech. Důvodem bylo velké tahové napětí v dolních vláknech jednotlivých polí, které se blížilo k mezní hodnotě. Podrobná geometrie soudržných a volných předpínacích kabelů je uvedena v příloze P2 - Výkresy, výkres č. P2.04 - VÝKRES PŘEDPÍNACÍ VÝZTUŽE a výkres č. P2.05 - USPOŘÁDÁNÍ VOLNÝCH PŘEDPÍNACÍCH KABELŮ.

8.4 Mezní stav použitelnosti

8.4.1 Omezení napětí

Konstrukce byla posouzena v době předpínání (t_0) a na konci životnosti (t_{00}).

Bylo ověřeno tlakové napětí v betonu, které může způsobit vznik podélných trhlin a rozvoj mikrotrhlin, což může ovlivnit funkčnost konstrukce.

Tahové napětí v betonu je u předpjatých konstrukcí omezeno z důvodu vzniku trhlin a následného omezení trvanlivosti konstrukce.

Bylo ověřeno také tahové napětí ve výztuži, které by mohlo vést ke vzniku nepružného přetvoření, nadměrnému rozšiřování trhlin a deformací.

8.4.2 Omezení trhlin

Trhliny na konstrukci nevzniknou, pokud bude dodržena podmínka tlakové rezervy pro častou kombinaci, což bylo splněno.

8.5 Mezní stav únosnosti

8.5.1 Ohybová únosnost

Konstrukce byla posouzena na konci životnosti (t_{00}). Byly vybrány dvě nejvíce namáhaná místa - nad podporou P4 a v poli 5. Konstrukce vyhověla ve všech řezech a nebyl potřebný návrh přídavné betonářské výztuže.

8.5.2 Působení posouvající síly a kroutícího momentu

Pro výpočet byl využit prutový model 3D, ve kterém bylo zatížení dopravou - pomocí pojezdu umístěno na požadované excentricitě, které vyvodí maximální posouvající sílu $V_{Ed,max}$ a maximální kroutící moment $T_{Ed,max}$. Na konstrukci byly vybrány dvě nejvíce namáhaná místa - podpora P4 a pole 6 (17m před podporou P7). Výsledná betonářská výztuž bude součet podélné smykové výztuže s výztuží potřebnou pro přenesení příčného ohybu.

8.5.3 Příčný směr

Pro statickou analýzu v příčném směru byl vytvořen desko-stěnový model. Aby bylo zjištěno správné umístění zatížení od dopravy pro vyvolání extrémních účinků, byl navíc vytvořen prutový model 2D pro získání průběhu příčinkových čar. Tento model také sloužil ke kontrole správného fungování desko-stěnového modelu.

8.6 Podporový příčník

Pro posouzení a dimenzování byl vybrán nejvíce namáhaný příčník - podpora P4. V programu Scia Engineer byly vytvořeny dva prutové modely v rovině XZ, které odpovídají geometrii příhradových modelů příčníku. Na základě vnitřních sil na těchto modelech byla navržena betonářská výztuž příčníku. Podrobnější popis a schéma příhradových modelů viz příloha P4. Statický výpočet, kap. 13. PODPORVÝ PŘÍČNÍK.

9 BEZPEČNOST A OCHRANA ZDRAVÍ PŘI PRÁCI NA STAVENIŠTI

Při provádění prací na staveništi je třeba dodržovat právní a ostatní předpisy k zajištění bezpečnosti a ochrany zdraví při práci, ustanovení norem (ČSN), bezpečnostních a hygienických předpisů.

Některé základní právní předpisy:

Zákon č. 262/2006 Sb., zákoník práce.

Zákon č. 309/2006 Sb., kterým se upravují další požadavky bezpečnosti a ochrany zdraví při práci v pracovněprávních vztazích a o zajištění bezpečnosti a ochrany zdraví při činnosti nebo poskytování služeb mimo pracovněprávní vztahy (zákon o zajištění dalších podmínek bezpečnosti a ochrany zdraví při práci).

Nařízení vlády č. 591/2006 Sb., o bližších minimálních požadavcích na bezpečnost a ochranu zdraví při práci na staveništích.

Nařízení vlády č. 592/2006 Sb., o podmínkách akreditace a provádění zkoušek odborné způsobilosti.

Nařízení vlády č. 362/2005 Sb., o bližších požadavcích na bezpečnost a ochranu zdraví při práci na pracovištích s nebezpečím pádu z výšky nebo do hloubky.



ZÁVĚR

V diplomové práci byly navrženy tři varianty možného přemostění daného údolí. Následně byla vybrána nejvhodnější z nich a staticky posouzena na mezní stavy použitelnosti a únosnosti. Pro zjednodušení bylo zanedbáno půdorysné zakřivení a podélný sklon. V závěru byla vypracována výkresová dokumentace a vizualizace.

V Brně dne 12. ledna 2018

.....

podpis autora

Bc. Kamila Ondrůšková

SEZNAM POUŽITÝCH ZDROJŮ

Seznam použitých norem

- [1] ČSN EN 1991-1-1 Zatížení konstrukcí: Obecná zatížení - Objemové tíhy, vlastní tíha a užitná zatížení pozemních staveb.
- [2] ČSN EN 1991-1-4 Zatížení konstrukcí: Obecná zatížení - Zatížení větrem.
- [3] ČSN EN 1991-1-5 Zatížení konstrukcí: Obecná zatížení - Zatížení teplotou.
- [4] ČSN EN 1991-2 Zatížení konstrukcí: Zatížení mostů dopravou.
- [5] ČSN EN 1992-1-1 Navrhování betonových konstrukcí: Obecná pravidla a pravidla pro pozemní stavby.
- [6] ČSN EN 1992-2 Navrhování betonových mostních konstrukcí. Betonové mosty - Navrhování a konstrukční zásady.

Seznam použité literatury

- [1] NEČAS R., Betonové mosty I - Zásady navrhování, Studijní opora VUT FAST Brno, Brno, 2014
- [2] NAVRÁTIL J., Předpjaté betonové konstrukce, Akademické nakladatelství CERM, s.r.o., Brno, 2008
- [3] STRÁSKÝ J., Betonové mosty, ČKAIT, Praha, 2001
- [4] STRÁSKÝ J., NEČAS R., Betonové mosty II, Modul M01 - Technologie výstavby mostů, Studijní opora VUT FAST Brno, Brno, 2007
- [5] STRÁSKÝ J., NEČAS R., Betonové mosty II, Modul M02 - Analýza betonových mostů, Studijní opora VUT FAST Brno, Brno, 2007
- [6] Vzorové listy staveb pozemních komunikací, VL4 - Mosty. Pragoprojekt, a.s., Praha, 2010

Internetové zdroje

<http://www.berd.eu>

<http://www.vsl.cz>

<http://www.freyssinet.cz>

<http://www.bezpecnostprace.info>

Použité programy

Autodesk Autocad 2016

Scia Engineer 16.2

Sketchup 2017

SEZNAM PŘÍLOH

P1. Použité podklady a varianty řešení

- P1.01 - VRSTEVNICOVÝ PLÁN
- P1.02 - PODÉLNÝ ŘEZ ÚZEMÍM
- P1.03 - VARIANTA 1 - PODÉŮNÝ ŘEZ
- P1.04 - VARIANTA 1 - PŘÍČNÝ ŘEZ
- P1.05 - VARIANTA 2 - PODÉŮNÝ ŘEZ
- P1.06 - VARIANTA 2 - PŘÍČNÝ ŘEZ
- P1.07 - VARIANTA 3 - PODÉŮNÝ ŘEZ
- P1.08 - VARIANTA 3 - PŘÍČNÝ ŘEZ

P2. Výkresy

- P2.01 - SITUACE
- P2.02 - PODÉLNÝ ŘEZ
- P2.03 - PŘÍČNÝ ŘEZ
- P2.04a - VÝKRES PŘEDPÍNACÍ VÝZTUŽE
- P2.04b - VÝKRES PŘEDPÍNACÍ VÝZTUŽE
- P2.04c - VÝKRES PŘEDPÍNACÍ VÝZTUŽE
- P2.05 - USPOŘÁDÁNÍ VOLNÝCH PŘEDPÍNACÍCH KABELŮ
- P2.06 - VÝKRES BETONÁŘSKÉ VÝZTUŽE

P3. Stavební postup a vizualizace

- P3.01 - STAVEBNÍ POSTUP
- P3.02 - POHLED A
- P3.03 - POHLED B
- P3.04 - POHLED C
- P3.05 - POHLED D
- P3.06 - POHLED E
- P3.07 - POHLED F

P4. Statický výpočet



SEZNAM OBRÁZKŮ

Obr. 1-1 Schéma příčného řezu - varianta 1	12
Obr. 1-2 Schéma příčného řezu - varianta 2.....	13
Obr. 1-3 Schéma příčného řezu - varianta 3.....	14
Obr. 8-1 Prutový model pro analýzu podélného směru	24
Obr. 8-2 Model pro časově závislou analýzu	25
Obr. 8-3 Desko - stěnový model pro analýzu v příčném směru	25